554.943
H363h

Überreicht vom Verfasser.

Geologische Nachlese.

Von

Albert Heim.

Nr. 22.

Die horizontalen Transversalverschiebungen im Juragebirge.

Sonderabdruck aus Jahrgang 60 (1915) der
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.

Ausgegeben am 15. Juli 1915.

ZÜRICH
Druck von Zürcher & Furrer
1915.

GEOLOGY

554.943
H36h
Geol.

Geologische Nachlese.

Von

Albert Heim.

(Als Manuskript eingegangen am 12. April 1915.)

Nr. 22.

Die horizontalen Transversalverschiebungen im Juragebirge.

Mit einer tektonischen Kartenskizze des Juragebirges in 1 : 2 000 000.

I. Einleitung.

Bei Gelegenheit der Arbeiten für eine „Geologie der Schweiz" habe ich mir an Hand der Literatur und eigener Beobachtungen ein möglichst vollständiges Bild von der Bedeutung der Brüche im Juragebirge zu machen versucht. Dabei habe ich bestätigt und zusammengefasst, was bisher viele Beobachter, der eine da, der andere dort, festgestellt haben: Der Tafeljura östlich des Rheintalgrabens (des untern Birslaufes) zwischen Rhein und Kettenjura ist von Schwärmen vorherrschend N—S oder NE—SW laufender ächter Verwerfungen (steilen Brüchen mit primär relativer Vertikalverstellung der beiden Flügel, oft paarweise zu Grabenbrüchen geordnet) durchsetzt. Dieselben gehören, wie der Tafeljura überhaupt, zum Schwarzwald. Sie sind in der jüngeren Oligocaenzeit und im ältesten Miocaen, jedenfalls prävindobonisch entstanden und werden glatt transgressiv überdeckt vom jüngeren Miocaen (Vindobonien). Nur wenige derselben sind postmiocaen nochmals etwas „reaktiviert" worden. Diese Verwerfungen gehen bis an den Nordrand des Kettenjura hinan, sie tauchen mit dem Tafeljura unter die Brandungsketten des Kettenjura hinein. Nirgends aber findet man solche Brüche in der Muschelkalkaufbruchszone des Kettenjura oder weiter einwärts in den Kettenzonen. Der Versuch von Steinmann und seinen Schülern, solche Verwerfungen im Innern des Kettenjura zu finden, ist völlig gescheitert. Die Brüche im Innern des Kettenjura sind ganz anderer Natur; sie sind mit wenigen Ausnahmen entweder Faltenbrüche oder Transversalbrüche, die ganz unabhängig von den Brüchen des Tafeljura und viel später erst entstanden sind.

Die Auffaltung des Kettenjura hat dagegen auch das jüngste Miocaen mitgefaltet, mitüberschoben, sie ist postsarmatisch und mit ihr gehen zusammen fast alle die Brüche, die wir im Innern des Kettenjura finden. Diese sind keine ächten Verwerfungen, sie sind, 1. wenn gleich wie die Ketten streichend, „Faltenverwerfungen" „Überschiebungen", d. h. aus der Übertreibung von Falten hervorgegangene „forcierte Falten"; oder 2., wenn sie die Ketten schneiden, so sind es Transversalbrüche mit horizontaler Verschiebung der beiden Seiten aneinander; oder 3. kleine lokale unregelmässige Brüche, bedingt durch lokale Ungleichheiten in Schub oder Widerstand.

In dieser kurzen Zusammenfassung weiss ich mich im Einklang mit den besten neuesten Beobachtern der Tektonik des Juragebirges, deren Resultate in obigem kurz zusammengefasst sind, im besondern mit Mühlberg, mit Buxtorf, Rollier, Blösch und Schardt.

Die Transversalbrüche im Juragebirge sind bisher noch recht wenig beachtet und noch niemals in ihrem Zusammenhang geprüft worden. Wenn ich in den folgenden Blättern einen vorläufigen Versuch mache, die Transversalbrüche des Jura unserem Verständnis näher zu bringen, so hoffe ich zugleich die Aufmerksamkeit der Beobachter auf diese schöne Erscheinung mehr als bisher zu lenken.

Arnold Escher kannte die horizontalen Transversalverschiebungen schon seit den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts aus dem Säntisgebirge. Köhler fasste sie noch mit anderen Verschiebungen zusammen. Süss nannte sie „Blätter" (Antlitz der Erde I, S. 153—160) und Margerie und Heim präzisierten sie (in „Les dislocations", S. 71 etc.) als transversale Horizontalverschiebungen. Prachtvolle Beispiele von solchen sind exakt untersucht und dargestellt von Marie Jerosch mit Albert Heim im „Säntis" („Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz", neue Folge, Lfg. XVI, 1905). Allein die Querbrüche des Juragebirges sind leider noch niemals Gegenstand eingehender Spezialuntersuchung geworden, so oft wir schon dieses dankbare Thema zur Bearbeitung empfohlen hatten. Ihre Kenntnis ist noch sehr unvollkommen.

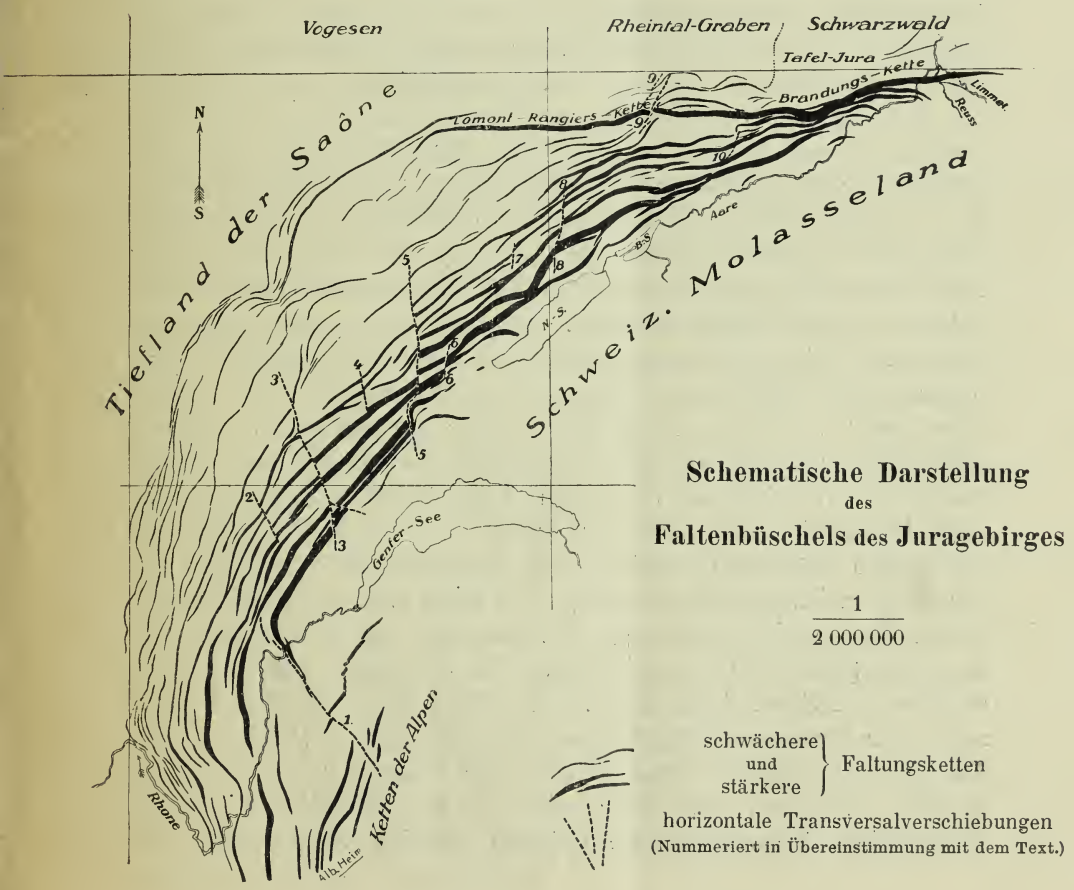
Aus den bisherigen Beobachtungen ergibt sich im allgemeinen, dass zwei im Horizontalschub — sei es infolge ungleicher Widerstände oder ungleicher Kraft — ungleich stark bewegte Stücke der Erdrinde voneinander abreissen. Die Trennung muss mehr oder weniger in der Bewegungsrichtung verlaufen, sie muss bis auf die Scherfläche hinabreichen, sie ist also gegenüber den Falten ein Transversalbruch und sie ist zugleich eine relative horizontale Verschiebung, weil die beidseitigen Teile an derselben ungleich weit

ETH-BIBLIOTHEK

horizontal vorbewegt worden sind. Die Bruchfläche ist immer quer, oft annähernd senkrecht oder schief zum Kettenstreichen. Die Rutschstreifen sind annähernd horizontal; die beidseitigen Gebirgsmassen sind in ihrer Höhenlage nicht wesentlich verstellt. Die Horizontalbewegung hat gefaltet und zugleich durch ihre Ungleichheiten die horizontalen Transversalbrüche erzeugt. Es gibt viele kleine horizontale Transversalbrüche, die nur etwa ein Glied einer Falte, einen Schenkel unterbrechen. Andere laufen durch ein ganzes Gewölbe, und endlich gibt es horizontale Transversalverschiebungen, die durch viele Ketten einheitlich durchsetzen. Die grössere Wirkung wird die Folge der ausgebreiteteren Ursache sein.

II. Die einzelnen Querbrüche im Juragebirge.

Beobachten wir zuerst die bisher bekannten Transversalbrüche des Juragebirges einen nach dem andern unter Hinweis auf die beigegebene, etwas schematisierte Kartenskizze des Juragebirges in 1 : 2 000 000.



Von SW nach NE geordnet, treffen wir im Jura auf folgende harmonische, wenn auch ungleich stark entwickelte horizontale Transversalverschiebungen:

Nr. 1. Die Salèvebrüche sind zahlreich. Der Salève liegt indessen ausserhalb des eigentlichen Jurafaltenbüschels. Der südlichste Salèvebruch jedoch zieht sich durch die Vuache-Kette, die demselben entlang geschleppt ist, bis in den eigentlichen Kettenjura hinein. Er liegt ganz auf französischem Gebiete. Ostflügel nördlich vorgeschoben (Nr. 1 unserer Kartenskizze).

Nr. 2. Der Querbruch von St. Claude, gegen NNW streichend, ca. 10 km lang, die E-Seite um ca. 2 km nach Norden vorgeschoben (ganz auf französischem Gebiete).

Nr. 3. Der Querbruch Dôle-Champagnole.

Leider noch wenig bekannt ist der zweitgrösste Transversalbruch im Jura, der wohl 6—8 Antiklinalen verschiebt. Er ist S—N mit Ablenkung um etwa 20° gegen NW gerichtet, so dass er das Streichen der Schichten und Ketten unter einem Winkel von ca. 65° durchschneidet. Sein südlicher Anfang scheint bei Gex zu liegen und die Krümmung der grossen Kette am Col de Faucille damit in Zusammenhang zu stehen. Ein östlicher Zweig bringt Komplikationen in die Gegend von St. Cergue. Die Dôle liegt im Winkel der beiden Südzweige. Aus der geologischen Karte 1 : 100 000, Blatt XVI (Schardt) sind nördlich der Dôle nur auffallende Schleppungen der Kreidesynklinalen des westlichen Teils nach Norden in den östlichen bei dem jenseits der Schweizergrenze liegenden Fort le Sogy und zwischen Préamon und les Rousses, und ebensolche an den Doggerantiklinalen nördlich Préamon und bei Morez zu sehen. Eine Rinne, die durch Berg und Tal geht, zeichnet die Querstörung sehr deutlich. Bergrücken und Längstalmulde beiderseits stimmen nicht aufeinander. Die „Carte structurale“ von Margerie lässt sie sehr gut erkennen, indessen grösstenteils ohne sie als Bruch anzugeben. Im Streichen der Kreidemulde von Long'chaumois westlich folgt östlich unvermittelt der hohe Malmrücken des Forêt du Risoux und die Kreidemulde von La Mouille stösst am Nordschenkel des Gewölbes von Morez ab. Die Karte zeichnet keinen Bruch, es scheint z. T. mehr horizontale Flexur zu bestehen. Zwischen St. Laurent und le Fort zeichnete Jaccard (Blatt XI) einen Bruch. Die Störungen scheinen über Morillon und Syam fortzusetzen. Eine Zahl für die Verschiebungen auf dieser Transversalstörung kann ich nicht geben (1—1½ km?), das aber ist aus den Schleppungen oder Knickungen im Streichen deutlich zu sehen, dass hier wie bei den nachfolgend zu besprechenden Querbrüchen die Ostseite nördlich vorgeschoben ist.

Von der Dôle bis Champagnole hat die Transversalstörung ca. 40 km Länge.

Dieser Transversalknick oder -bruch Dôle-Champagnole trifft, wenn man ihn in Gedanken verlängert, auf Brüche von Norden. Im besondern zielt er gegen das merkwürdige Salins, wo der westliche („ledonische") Aussenbogen des Jurafaltenbüschels in steilem Winkel auf den nördlichen („bisontischen") trifft, und der eine über den andern sich schiebt, so dass es aussieht, als ob sich dort Falten kreuzen, oder als ob sie von Salins aus in allen Richtungen ausstrahlen würden. Eine genaue tektonische Untersuchung und Kartierung jenes wichtigen Gebietes in grossem Masstabe fehlt noch. Dagegen scheint es mir nach dem Kartenbilde möglich, dass die Linie Dôle-Salins es ist, welche die Faltenschar veranlasst hat, in zwei Bögen getrennt hier hinaus zu branden.

Nr. 4. In die Reihe der horizontalen Transversalverschiebungen von harmonischem Sinn muss weiter die kleine, den andern parallel laufende Transversalverschiebung bei Mouthe, 14 km östlich Vallorbe, eingestellt werden. Sie ist 2 km lang mit bis 800 m Vorschiebung des Ostflügels nach N, die nördliche Kette knickt aus. Wechsel in der Breite der Kreidemulde gleicht wieder aus.

Nr. 5. Der Querbruch Vallorbe-Pontarlier.

Am 3. Oktober 1898, nachmittags 1—2 Uhr, fuhr ich im Freiballon (Heim, Spelterini und Maurer, Die Fahrt der „Vega" über Alpen und Jura, Basel 1899) in der Höhe von 5000 bis mehr als 6000 m über den Jura über Yverdon-St. Croix-Besançon. Das ganze Juragebirge war zu überschauen. Ich werde den Anblick mein Leben lang nie vergessen. Die grosse Transversalverschiebung von Montricher bis Pontarlier sah aus, als ob ein Gott mit einem gewaltigen Messer durch die ganze Schar der Runzeln der Erdrinde einen gewaltigen Schnitt gezogen hätte, der nicht zu verheilen vermag. Man konnte sehr gut übersehen, wie alle die Längszonen an diesem Querschnitt abgeschert und die östliche Seite weiter gegen Norden vorgeschoben ist. Das ist bei weitem der grösste und markanteste Querbruch im Jura. Er durchschert 8—10 Antiklinalen. Jede ordentliche geographische Karte macht ihn kenntlich. Strasse und Eisenbahn benützen ihn. Aug. Jaccard erwähnt ihn zuerst (in „Beiträge" VI, 1869, S. 264 u. 265), aber nur ganz kurz, wie folgt: „Chaînons de l'axe Sud–Nord. Je suis assez embarassé sur la question de savoir, si l'on peut considérer les dislocations Sud-Nord comme des chaînons. En réalité nous avons plutôt à faire à des déviations plus ou moins brusques des chaînons que je viens d'énumérer". Jaccard erkannte also wohl die Natur der Erscheinung richtig, fand aber nicht den scharfen Ausdruck für dieselbe.

Der grosse Querbruch Vallorbe-Pontarlier läuft, ausgenommen eine kleine Auskrümmung nach E, fast geradlinig S–N auf 45 km Länge. Er schneidet die Streichrichtung der Schichten und Falten unter 55°. Er setzt schon am Südrande der innersten Kette nördlich Moltens, westlich Montricher an. Die Diluvialdecke verhindert, ihn weiter nach S zu verfolgen, wo er wohl noch ein Stück weit in die Molasse hin auslaufen muss. Das gewaltige, von SW kommende doppelte Gewölbe des Mont Tendre wird glatt abgeschnitten, wobei die abgedrückte Fortsetzung seiner südlichen Hälfte nach Art einer scharfen Horizontalflexur in S–N-Richtung verbogen geschleppt und an die Querbruchfläche angepresst wird. Als Kette der Dent du Vaulion streicht dieses zusammengedrückte Gewölbe mit vertikalem Westschenkel an der Ostseite des Bruches 8 km weit S–N entlang, bis es nach dieser Abschwenkung wieder in die normale Richtung umbiegt (Montagne de Grati). Das weite, kreideführende Synklinaltal des Lac de Joux, sowie die nördlich den See begleitende Malm-Antiklinalrippe sind bei le Pont glatt abgeschert und zugleich abgesperrt durch die verdreht angepresste Vaulionkette. Die nördliche Parallelmulde des Lac de Brenet ist gegen N geschleppt und schliesslich zerdrückt. Die beiden hochgelegenen Seen (1008 m) sind, wie der Fählensee und der Seealpsee im Säntisgebirge, durch die transversale Horizontalverschiebung abgedämmt und entstanden. Sie hat die Täler abgeschnitten und eine Kette vor die Abschnittfläche gepresst. Eines der merkwürdigsten Jurabilder bildet die Umgebung von le Pont am NE-Ende des Lac de Joux. Die Kirche von le Pont steht auf dem Transversalbruch. Der Gault der Mulde des Lac de Joux stösst dort, geschleppt und aufgerichtet, an dem senkrechten, S–N streichenden Malmkalk ab. An andern Stellen stossen die westlichen, nach NE streichenden Schichten unvermittelt an den östlichen S–N streichenden senkrechten Schichten ab, oder es sind die westlichen Schichten am Bruche mehr oder weniger gegen N geschleppt und umgebogen. An den Malmwänden E le Pont sah ich in der Nähe des Bruches eine Menge von senkrechten S–N laufenden Rutschflächen mit horizontalen S–N Rutschstreifen. Die Kartierung 1893 von A. Jaccard konnte ich mit Ausnahme unbedeutender Einzelheiten vollauf bestätigen.

Das Wasser der beiden Seen versiegt im Malmkalk des senkrecht gestellten NW-Schenkels der Mulde des Lac de Brenet an dessen Nordseite, brausend in gewaltige Trichter hinab. Es erscheint 3 km NE und 207 m tiefer aus der Sohle derselben Mulde am Fusse der Malmwand, mit welcher gegen Vallorbe die ganze verklemmte Zone abbricht, als die gewaltige Quelle der Orbe.

Auf dem Stück Lac de Brenet-Vallorbe hat also die W und E ungleiche Bewegung sich z. T. in einer Verdrehung des Faltenstreichens auszulösen versucht, die sich übrigens auch noch weiter südlich in der Abdrehung der Kreidekette nach La Sarraz geltend macht. Brüche laufen mit. Nördlich von Vallorbe aber folgt der einheitliche glatte Querbruch. Der Noirmont westlich mit seinen zwei Gewölben in Mont d'Or und Mont Rond ist am Bruch steil abgeschnitten und setzt östlich des Bruches, um 3 km nach N verschoben, 300—400 m tiefer im Mont Rame fort, der vielleicht ein stärker gesunkenes Zwischenstück („Klemmpacket") ist.

Wenn man ein Profil der Falten westlich dem Bruch entlang und eines der Ostseite zeichnet, beide projiziert bis an die senkrechte S–N laufende Bruchfläche — was freilich mangels genauer Aufnahmen und genauer Kartierung erst in sehr unsicherer und unvollkommener Art möglich ist — so findet man, dass man wohl die grösseren Faltungsteile, die im Westen abgeschert sind, im Osten in ihrer vorgeschobenen Fortsetzung wieder erkennen kann; allein im einzelnen sind die Faltungsformen beiderseits doch ziemlich verschieden geworden. Es entsprechen sich unter stetiger starker Verschiebung der Ostseite gegen Norden die verschiedenen Faltungsglieder, wie mir scheint, wie folgt:

Westseite südlich zurückgeblieben	**Betrag der horizontalen Verschiebung** an der Bruchfläche gemessen in Kilometer	**Ostseite** nördlich vorgeschoben
Mont Tendre, Süd-Teil	10	Dent de Vaulion–sur Grati
Kreidesynklinale auf dem Scheitel des Mont Tendre	10	Kreide von Ballaigues
Nordhälfte des Mont Tendre	10	Antiklinale les Cernis, 1245 m N von Ballaigues
Lac de Joux	9	Entre les Bourgs
Kreidemulde Lac de Brenet		ist weggequetscht
Stelle von Vallorbe	4½	Stelle von les Maillots bei Jougne
Noirmont (Mt. d'Or u. Mt. Rond)	3	Bergrücken E von Hôpitaux
Kreidesynklinale von Rochejean	2½	Kreidemulde von Voirnon bis Auberson
Kreidesynklinale von Mt. Perret (Lac de St. Point)	2½	Kreidesynklinale von les Verrières
Kreidesynklinale von Malpas	2½	Kreidesynklinale v. les Allemands
Jurarücken SW Pontarlier	2½	Jurarücken NE Pontarlier
Kreidesynklinale SW Pontarlier, anstossend an den Ort	2	Kreidesynklinale von Doubs-Arçon

Während im südlichen Teil bis Hôpitaux die Ostseite tiefer lag, steht sie weiter nördlich höher, alle Kreidesynklinalen westlich werden damit viel stärker und breiter. Nördlich von Pontarlier ist die Westseite zum Synklinalbecken eingesunken. Etwa 10 km nördlich Pontarlier, das auf dem Bruche selbst liegt, erlöscht er nach den bisherigen Aufnahmen. An vielen Stellen ist unser grosser Transversalbruch eine messerscharfe Verschiebung, an welcher die beidseitigen gefalteten Schichtmassen ohne Schleppung abschneiden. An andern Stellen, wie am südlichsten Teil und ebenso auch nördlich von Touillon stellt sich Schleppung und Drehung der Streichrichtung ein. Meines Wissens hat aber noch Niemand all den Begleiterscheinungen, wie Konzentration oder Teilung der Rutschfläche, Klemmpackete, Reibungsbreccien, Rutschflächen und Lage ihrer Streifen, genaue Ermittlung der Verschiebungsbeträge etc. etc. nachgesucht, so dankbar die Aufgabe einer mechanischen Monographie dieses Transversalbruches wäre.

Wenn unsere obige kleine Tabelle richtig ist, so folgt daraus, dass — von unbedeutenden Schwankungen abgesehen — der Verschiebungsbetrag im Süden am grössten ist und gegen Norden abnimmt, was auch dem allgemeinen Habitus des Gebirges, wie er uns auf einem Relief oder einer guten Karte in die Augen springt, völlig entspricht.

Bei Mouthier, in der Verlängerung des Querbruches, treffen wir auf eine auffallende südliche Einknickung des S-Randes der nördlich folgenden tieferen Stufe des Plâteau d'Ornans, welche Stelle zugleich das Ostende des ledonischen Jurabogens ist. Nach einem Unterbruch von 25 km folgt in der verlängerten nördlichen Fortsetzung des Bruches von Pontarlier ein solcher bei Baume-les-Dames. Ich halte den letzteren für ganz unabhängig vom Pontarlier-Bruch. Er kommt von den Vogesen und ist wahrscheinlich eine Verwerfung. Die Brüche der Vogesen brechen etwas weiter in den nördlichsten sanften Kettenjura hinein, als die Schwarzwaldbrüche.

Nr. 6. Ein kleiner kräftiger Transversalbruch schneidet in einer Länge von 2 km ca. 10 km östlich der Vallorbe-Pontarlier-Verschiebung das Gewölbe von Aiguilles de Baulmes–Mont Suchet durch. Mont Suchet liegt östlich und ist ca. 1 km nördlich geschoben, so dass am Bruch die dort breite Kreidemulde am Doggerkern abstösst. Die Bewegung war zugleich ein höheres Aufwölben der Ostseite um den Betrag von 300 m. Der Bruch gleicht sich nördlich aus, indem die westlich breite Kreidemulde mit Tertiär östlich schmal wird. Die starke N-Schleppung der Antiklinale von Ste-Croix mag mit ihm mechanisch zusammenhängen. Der Bruch ist ganz harmo-

nisch dem nahe gelegenen Vallorbe-Pontarlier-Bruch und dürfte vielleicht auch bloss als eine lokale Nebenerscheinung desselben gelten.

Nr. 7. Der Bruch von Les Brenets ist nicht einfach, er ist fast eher ein Bruchschwarm. Schon bei Col des Roches ist ein Querbruch mit 100 m nördlichem Vorschub des Ostflügels deutlich. Östlich neben Les Brenets lässt er sich auf etwa 2 km, etwas gekrümmt SN laufend, mit 200—500 m Verschiebung, Ostflügel nördlich vorgeschoben, verfolgen (Karte 1 : 25 000 von Rollier und Favre), und im östlichen Bergrücken der Saignotte hat er noch einige parallele Mitläufer. Der Hauptbruch durchsetzt den Dogger der Saignotte-Kette und die Gesteine der Kreidemulde von Les Brenets.

Nr. 8. Der Querbruch zwischen La Chaux-de-Fonds und Freibergen. Nach der Grösse ist er der dritte Querbruch im Kettenjura. Er trennt die Region von La Chaux-de-Fonds von den Freibergen ab und streicht nach N mit 10° Ablenkung gegen NE. Fünf Antiklinalen werden von ihm verschnitten und verschoben. Der Winkel zwischen dem Schichtstreichen und dem Bruch wechselt zwischen 30° und 50°. Auch hier zeigt sich der südliche Beginn des Querbruches in einer scharfen Schleppung einer Kette, die wiederum dem Vorschieben der Ostseite entspricht. Die Kette des Mont d'Amin oder Mont Damin ist gegen NNE gedreht und biegt dann am Bruch plötzlich wieder in das Normale nach ENE um. Der gegen Val de Ruz geöffnete Innenwinkel misst 130—140°. Südlich der Umbiegungsstelle, südlich der Tête de Rang setzt der schiefe Querbruch ein, der von hier 14 km weit nach N reicht. Auch hier ist der Ostteil vorgeschoben, wie sich genauer aus den Karten von Rollier (Blatt VII in 1 : 100 000) und Rollier und Favre (Spezialkarte 59 der „Beiträge" in 1 : 25 000) bemessen lässt. An der Tête de Rang beträgt die Verschiebung erst 450 m, dann bei La Ferrière auf der Verschiebungsfläche gemessen 2—$2^1/_2$ km. Mitten in der nördlichen Antiklinale von Les Bois erlöscht der Querbruch. Allein nicht nur diese, sondern noch die nördlichere bei Prailats und mit ihr der Doubs machen eine streichende Ausbiegung im Sinne der Querverschiebung. In diesem Falle haben wir also deutlich das Ausklingen der Querverschiebung in beiden Richtungen nach N und S in schleppenden Richtungsänderungen der Ketten. Der Bruch zwischen Franche-Montagne und La Chaux-de-Fonds ist nicht einfach und nicht immer gerade. Auf dem Mont d'Amin in der Passregion von Enclave de Fontaines zersplittert er in ein Gewirre von Brüchen mit verstellten Zwischenstücken.

Nr. 9. Nun setzt ein Bruchbüschel ein, das bei Montmelon die St. Brais-Kette mit Riss gegen NE abschert. Bei Les Rangiers ist

die Ostseite der gleichnamigen Kette durch einen zum Streichen der Kette ca. 60° schief laufenden Bruch um 500 m nach N vorgeschoben. Nach Rollier läuft einer der Brüche dieses Bruchbüschels zwischen Asuel und Frégiécourt östlich Charmville wohl 6 km weit gegen NNE, begleitet 800 m östlich von einem Parallelbruch. Diese Bruchregion ist auch dadurch sonderbar, dass gerade bei Les Rangiers unter einem stumpfen, nach dem Delsbergerbecken offenen Winkel von 110° die aus SW kommende Caquerelle- oder St. Brais-Kette auf die Rangiershauptkette trifft. Man kann sich denken, dass der Transversalbruch durch den Stoss oder richtiger die Versteifung durch die St. Brais-Kette entstanden sei, oder man kann auch annehmen, dass die St. Brais-Kette durch die Transversalbewegung in ihre Lage geschleppt oder gespannt worden sei, ganz analog wie der westliche Teil der Kette des Mont Damin bei Nr. 8. Vielleicht ist Nr. 9 in gewissem Sinne die Fortsetzung von Nr. 8.

Nr. 10. Wiederum 35—40 km von Nr. 8 gegen E abstehend sind mehrere Stücke von Transversalstörungen gefunden: zunächst ein Bruch E von Gänsbrunnen ziemlich spitzwinklig zur Kette gegen NE laufend, dann folgt in dessen Verlängerung der Bruch, der die Passwangkette abschneidet und gleich darauf die Schleppung des Westendes der Trogbergkette. Diese Transversalstörungen liegen in einer Linie, die mit der Streichrichtung der Ketten einen nach NE offenen Winkel von 30—40 und 50° bildet. Die Trogbergkette taucht zwischen Montsevelier (Mutzwil) und Mervelier (Morswil) fast plötzlich gegen W in die grosse Delsbergermulde hinab, sie knickt im Streichen aus dem Gewölbe in die Mulde hinab; dabei wird ihr westlicher Zipfel sonderbar gegen S umgedreht. Diese Wendung gegen S erzwingt nebenbei noch einen SSE–NNW streichenden Transversalbruch SE von Montsevelier, der von Rollier (Carte géologique de la Hohe Winde, „Beiträge", N. F. 8) ca. 1 km weit verfolgt worden ist und eine horizontale Verschiebungsbreite von 400—500 m, Westseite nördlich vorgeschoben, besitzt. Dieser Bruch ist eine blosse Nebenerscheinung der Kettenschleppung, welche den östlichen Teil ca. 2 km nördlich über das westliche Kettenende vorgeschoben hat. Der Sinn der Störungen von Gänsbrunnen bis gegen Montsevelier ist im ganzen also auch: Ostteil nördlich vorgeschoben.

III. Alter der Transversalverschiebungen.

Aus der entschiedenen Ähnlichkeit und dem Sichentsprechen der Falten beiderseits der Brüche und besonders aus dem vielfachen Übergang der Querbrüche in horizontale, richtungsändernde Schleppung

der Ketten geht hervor, dass die Ketten schon vor den Querbrüchen weit ausgebildet waren. Aus den Unterschieden in den Faltenformen beiderseits der Brüche dagegen folgt, dass mit den Transversalbrüchen gleichzeitig die Faltung noch etwas weiter ging, und zwar nach dem Bruch beiderseits unabhängig und deshalb ungleich. Wir sollten die Abwicklung der Falten beiderseits des Querbruches genau bestimmen können und in ihrer absoluten und zur Basis relativen Grösse und Form beurteilen und messen, um die ganze Mechanik besser zu verstehen. Soweit die Beobachtungen reichen, scheint mir schon sicher, dass die Querbrüche erst im letzten Drittel oder Viertel der Faltung begonnen und später die Faltung und die relative Bewegung an den Brüchen gleichzeitig zum Stillstand gekommen sind. Es stimmt das überein mit dem, was wir auch aus dem Säntisgebirge ableiten mussten. Die horizontale Transversalverschiebung, die z. B. im Pontarlier-Vallorbe-Bruch das Faltenbüschel des Jura auf mehr als der Hälfte seiner Breite durchsetzt, sowie alle diese Querbrüche gehören also auch zeitlich nicht in die Gruppe der vormiocaenen Schwarzwald-, Vogesen- und Tafeljuraverwerfungen, sondern zusammen mit der faltenden Horizontaldislokation in die postmiocaene Zeit. Diese Ableitung wird übrigens auch noch dadurch bestätigt, dass tatsächlich Synklinalen mit samt ihrem bis sarmatischen Molassegehalt durch die Querbrüche abgeschert oder geschleppt werden.

IV. Harmonische Erscheinungen der Querbrüche.

Wenn auch unsere Kenntnis der Transversalverschiebungen im Juragebirge noch recht unvollkommen ist und systematische Untersuchungen noch ganz fehlen, so ist doch eine Vermehrung ihrer Zahl durch weitere Untersuchungen nur für die kleinen Lokalbrüche zu erwarten, nicht für die grösseren. Die genannten vier grösseren (Nr. 1, 3, 5 und 8) und die sechs kleineren horizontalen Transversalverschiebungen im Kettenjura sind alle von durchaus harmonischem Bau. Es zeigt sich das in folgenden Erscheinungen:

Sie laufen alle vom Abzweigungspunkte von den Alpen oder vom Salève aus gesehen, fliehend gegen N fächerförmig auseinander, wie folgende Tabelle ihrer Streichrichtungen zeigt:

Nr.	1	streicht	nach	N–40°–NW
„	2	„	„	N–25°–NW
„	3	„	„	N–20°–NW
„	4	„	„	N–10°–NW
„	5	„	„	N genau

Nr.	6	streicht	nach	N– 8°–NE
„	7	„	„	N–10°–NE
„	8	„	„	N–11°–NE
„	9	„	„	N–30°–NE
„	10	„	„	N–35°–NE

Der ganze Fächer der Querbrüche umfasst also 75°. Die Transversalbrüche bilden mit den Ketten schiefe Winkel, und diese Winkel werden um so spitzer, geöffnet gegen N oder NE, je weiter der Bruch gegen NE liegt. So wird die Streichrichtung der Ketten geschnitten von:

Bruch	Nr.	1	unter	70–80°
„	„	2	„	65°
„	„	3	„	60°
„	„	4	„	60°
„	„	5	„	55°
„	„	6	„	50°
„	„	7	„	45°
„	„	8	„	40–45°
„	„	9	„	40–60° (krumm)
„	„	10	„	30–35°

Es sind die Ketten im gleichen Sinne sich krümmend gegen N, NE und E gedreht, wie der Fächer der Querbrüche; allein des letzteren Drehung ist stärker (75°), diejenige der Ketten auf der gleichen Strecke nur von N–35°–NE in W–E, also nur 55°. Infolge davon wird der Schnittwinkel von Ketten und Querbrüchen gegen E immer spitzer.

Alle diese zehn Transversalbrüche schieben den Ostflügel nördlich vor. In der Regel (bei Nr. 1, 2, 3 u. 5) sind die innersten Ketten am Bruch am stärksten verschoben. Die Verschiebung läuft gegen N, und bei 8, 9 und 10 (den östlichsten) auch gegen S, in Ablenkung oder Schleppung der Ketten im Sinne der Verschiebung — Ostseite gegen N vorgeschoben — aus. Die westlicheren Brüche setzen meistens an der innersten Kette an und endigen mit dem Eintritt in die äussere Zone der welligen Plateaux (1, 3, 5). Auch die kleineren Zwischenbrüche gehören im Westen der inneren Faltenzone an. Die östlichen Querbrüche dagegen lassen die innerste Kette unberührt, bleiben aber in der innern Zone. Keiner der Querbrüche gehört der äusseren Zone des Jurafaltenbüschels an.

Ganz besonders auffallend ist die annähernd regelmässige gleichförmige Verteilung der Transversalverschiebungen im Juragebirge. Alle gehören in Beziehung auf die Längserstreckung dem mittleren Teil des Faltenbüschels an, sie fehlen im SW-Jura und sie fehlen im

östlichen Kettenjura. Der weitaus stärkste und grösste Transversalbruch, derjenige von Vallorbe-Pontarlier, liegt völlig in der Mitte. Die beiden nächstgrossen liegen symmetrisch je 35 km SW und NE davon. Die kleineren verteilen sich fast genau in der Mitte der grösseren, teils ausserhalb derselben, so, dass kein Bruch dem benachbarten näher als 6 km, keiner entfernter als 20 km liegt, meistens beträgt die Distanz vom einen zum nächsten ungefähr 16 km.

V. Ursache der Querbrüche.

Die oben dargelegte harmonische Gestaltung und Verteilung beweist, dass die Querbrüche die Auslösung einer grossen einheitlichen Spannung sind, welche die ganze Region bei der Faltung fast gleichmässig ergriffen hat.

Am Resultat verrät sich die Ursache. Messen wir die Länge eines von den Querverschiebungen durchsetzten Faltenzuges, zusammenhängend ausgeglichen von einem Ende zum andern jetzt und dann wie sie vor den Transversalbrüchen war, so erkennen wir, dass diese Brüche eine longitudinale Streckung bedeuten. Das Ausbiegen der Juraketten während ihrer Faltung hat notwendig eine Longitudinalstreckung derselben erzeugt. Dieselbe hat sich in den Querbrüchen um so leichter befriedigen können, als diese Brüche nicht senkrecht, sondern schief durch die Ketten gehen. Wir erkennen damit die Transversalbrüche im Juragebirge als das Resultat der durch die Ausbiegung entstandenen longitudinalen Streckung, und so ist uns nun auch ihre harmonische Anordnung und Verteilung verständlich.

Wir können sogar noch einen Schritt weiter gehen, indem wir die Streckung messen und mit der von der Ausbiegung geforderten vergleichen. Messen wir, soweit wir sie kennen, die maximale Verschiebung an jedem Transversalbruch auf der Bruchlinie, so berechnet sich nach obigen Notizen die durch die 10 schiefen Brüche in ihrer Summe sich ergebende Streckung für die meist betroffenen Fasern des Faltenbüschels in Metern wie folgt: Sie ist gleich: (Nr. 1) 1500 · Cos. 70° + (Nr. 2) 2000 · Cos. 65° + (Nr. 3) 1500 · Cos. 60° + (Nr. 4) 800 · Cos. 60° + (Nr. 5) 10000 · Cos. 55° + (Nr. 6) 1000 · Cos. 50° + (Nr. 7) 300 · Cos. 45° + (Nr. 8) 2500 · Cos. 40° + (Nr. 9) 500 · Cos. 60° + (Nr. 10) 1000 · Cos. 35° = 11000 bis 12000 m. Das ist also eine Gesamtstreckung für die mittleren Fasern von ca. 10 km, also von 320 km Bogenlänge auf 330 km, das ist um ca. 3 %. Nicht dass ich auf diese Zahl ein grosses Gewicht legen wollte. Ich habe sie deshalb auch abgerundet. Wir kennen die Transversalbrüche noch viel zu wenig genau. Ich wollte nur den Gedanken andeuten, der

vielleicht später nützlich sein kann. Selbstverständlich werden wir bei diesem Bemessen der Streckung stets weniger erhalten, als die Differenz in Länge von Sehne und Bogen des Faltenbüschels, weil wahrscheinlich die Ketten schon in Statu nascendi gekrümmt waren und weil ein Teil der Longitudinalstreckung auch auf andere Art befriedigt werden konnte. Wenn die Verschiebung auf den Transversalbrüchen die Folge der Streckung ist, so sollte man dann erwarten, dass die genaue Abwicklung der beiden Profile beiderseits eines Transversalbruches keine wesentliche Differenz im Betrage der Faltung ergeben wird. Im Ostjura, in der Brandungszone, finden wir keine nennenswerte schiefe Querverschiebung mehr, weil der Widerstand des Schwarzwaldes mit dem Tafeljura die Auskrümmung der Juraketten und damit ihre Streckung verhindert hat.

Die Frage ist naheliegend, warum die am stärksten ausgebogenen Falten des Kettenjura, die nordwestlichsten, von den Transversalverschiebungen nicht mehr erreicht werden. Die Antwort scheint mir darin zu liegen, dass die Transversalverschiebungen nur die schon länger bewegten und dadurch longitudinal gespannten Ketten durchsetzen, das sind die innersten zuerst entstandenen Ketten; dass dagegen die späteren nordwestlich sich angliedernden Ketten wohl in ihrer primären Anlage als Reaktion auf den ausbiegenden Schub schon viel stärker bogenförmig angelegt, dann nachher lange nicht mehr so stark weiter ausbiegend getrieben worden sind. Auch aus andern Gründen geht hervor, dass, mit Ausnahme der Brandungskette im Osten, die inneren Falten zuerst entstanden und am weitesten bewegt worden sind, die äusseren zuletzt — die inneren erlitten deshalb auch die stärkere Streckung.

* * *

Das Resultat dieser Zusammenstellung lässt sich kurz fassen: Zehn, die Ketten schief durchschneidende, horizontale Transversalverschiebungen von auffallend gleichmässiger Verteilung, harmonischer Divergenz gegen N und einheitlichem Sinn (Ostseite nördlich vorgeschoben) durchsetzen den inneren Teil des Jurafaltenbüschels teilweise oder ganz. Sie sind erst im späteren Teil der Jurafaltung entstanden und aus der Längs-Streckung der Ketten bei ihrer weiteren Ausbiegung hervorgegangen, und sie sind unabhängig von den älteren Verwerfungen der nördlichen Gebirge (Vogesen, Schwarzwald, Tafeljura) als eine rein jurassische, postsarmatische Horizontaldislokation aufzufassen.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 073315803